

病毒在无生命物体表面存活时间及其影响因素分析

杨书慧, 吴颐杭, 屈雅静, 刘奇缘, 伍海闻, 龚逸伟, 马瑾*

中国环境科学研究院, 环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012

摘要: 2020年3月11日, 世界卫生组织宣布新型冠状病毒肺炎(COVID-19, 简称“新冠肺炎”)疫情全球大流行. 病毒性传染病在人群中的发生需具备3个相互关联的条件, 即传染源、传播途径和易感人群, 其中传播途径是一个关键环节. 从环境传播的角度, 综述了包括SARS(重症急性呼吸综合征)病毒、MERS(中东呼吸综合征)病毒等病毒在无生命物体表面的存活时间及影响因素. 结果表明: 包括冠状病毒在内的一些具有传染性的病毒能在多种无生命物体表面存活一定时间, 进而可能通过物体表面进行环境传播, 造成潜在的健康风险; 物体材质、温度、湿度以及病毒载量等因素是影响病毒在无生命物体表面存活的主要因素. 在上述分析的基础上, 对医疗废物和生活垃圾的收集、运输、处理等过程提出了针对性的防控措施, 以期对新型冠状病毒(2019-nCoV)以及未来可能出现的其他病毒的环境传播防控对策提供参考.

关键词: 病毒; 无生命物体; 存活; 影响因素; 防控措施

中图分类号: X172

文章编号: 1001-6929(2020)07-1618-06

文献标志码: A

DOI: 10.13198/j.issn.1001-6929.2020.05.41

Survival Time and Influential Factors of Viruses on Surface of Inanimate Objects

YANG Shuhui, WU Yihang, QU Yajing, LIU Qiyuan, WU Haiwen, GONG Yiwei, MA Jin*

State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

Abstract: On March 11th, 2020, WHO declared a global pandemic of COVID-19. The occurrence of viral infectious diseases in the population should have three interrelated conditions, namely the infection source, the transmission way and the susceptible population, and the transmission way is a key link. From the perspective of environmental transmission, the survival time and influencing factors of viruses, such as SARS (Severe Acute Respiratory Syndrome) and MERS (Middle East Respiratory Syndrome) on inanimate surfaces were reviewed. The results showed that some infectious virus, including coronaviruses, could survive for hours to days on a variety of inanimate surfaces, which might result in virus spread in the environment and potential health risks. Object materials, temperature, humidity and virus load were the main factors affecting the survival of viruses on inanimate surfaces. Based on the above analysis, specific prevention and control measures were proposed for the collection, transportation and treatment of medical waste and household waste, in order to provide reference for taking effective measures to control 2019-nCoV and other viruses in the future.

Keywords: virus; inanimate objects; survival; influencing factors; prevention and control measures

2020年3月11日, 世界卫生组织宣布新型冠状病毒肺炎(COVID-19, 简称“新冠肺炎”)疫情为全球大流行^[1]. 新冠肺炎疫情在全球蔓延迅速, 截至2020年5月6日, 全球确诊病例已超350万例, 对人类健康造成极大的威胁^[2]. 目前已知的新型冠状病毒(2019-nCoV)传播途径主要是呼吸道飞沫传播和直接接触传播^[3], 但在美国第一例确诊新冠肺炎患者的粪便中检测到了新型冠状病毒的存在^[4]; 同时钟南山团队也在患者的粪便、尿液、唾液中检测到新型

冠状病毒, 并提示可能存在粪-口传播途径^[5]. 2020年3月4日, 国家卫生健康委员会发布《新型冠状病毒肺炎诊疗方案(试行第七版)》, 在传播途径方面指出“由于在粪便及尿中可分离到新型冠状病毒, 应注意粪便及尿对环境污染造成气溶胶或接触传播”^[6]. 研究^[7]发现, 病毒通过眼表的传播也不容忽视. 新型冠状病毒传播途径复杂多样, 疫情防控面临着巨大挑战, 其中如何处理大量的医疗废物和可能被病毒污染的生活垃圾就是一个巨大的挑战. 生态环境部于

收稿日期: 2020-03-31 修订日期: 2020-05-19

作者简介: 杨书慧(1995-), 女, 河北衡水人, yangshuhui4921@126.com.

* 责任作者, 马瑾(1978-), 男, 山西临汾人, 研究员, 博士, 博导, 主要从事土壤环境与健康研究, majin@craes.org.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(No.42041003)

Supported by National Natural Science Foundation of China (No.42041003)

2020年1月28日印发了《新型冠状病毒感染的肺炎疫情医疗废物应急处置管理与技术指南(试行)》,对医疗废物处置提出了全流程规范管理^[8],但对生活垃圾的处置仍缺乏足够的重视。

据统计,新冠肺炎疫情前武汉市医疗废物的产生量是40 t左右,随着患者的逐渐增加,最高峰时医疗废物的产生量超过240 t;疫情期间生活垃圾每日处理量在6 000 t左右。医疗和生活垃圾均可能被病毒污染而存在传播的风险,因此需在垃圾的收集、运输、处理等环节采取有针对性的措施将传播风险降至最低^[9]。以冠状病毒为代表的呼吸道疾病病毒污染医疗和生活垃圾后,可在垃圾表面存活数小时甚至数十天。在垃圾处理过程中,病毒也可能通过接触和气溶胶等途径传播^[10]。因此,被病毒污染的物体表面很可能造成病毒传播的次生风险^[9,11]。

研究^[12]发现,病毒作为一种特殊的纳米颗粒参与地球化学循环,因此病毒的环境传播也是环境地球化学研究的范畴。早在20世纪70年代,研究者开始对肠病毒在垃圾及垃圾填埋场中的存活与传播进行研究,发现垃圾可作为病毒的传播媒介^[13-14]。随后,研究者开始进行肝炎病毒、禽流感病毒、埃博拉病毒、SARS(重症急性呼吸综合征)病毒和MERS(中东呼吸综合征)病毒环境传播的相关研究^[9,15-17]。目前,新型冠状病毒在医疗和生活垃圾中存活和传播的研究相对较少,该研究综述了部分病毒在无生命物体表面的存活潜力及关键影响因素,以期为新型冠状病毒的防控提供借鉴。

1 病毒在无生命物体表面的存活与传播

病毒在物体表面上的稳定性会直接影响其传播能力^[18]。研究^[17]发现,具有大流行潜力的病毒如流感病毒、埃博拉病毒、SARS病毒、MERS病毒等均可在物体表面存活一定的时间并存在传播风险。

1.1 流感病毒

流感病毒包括人流感病毒和动物流感病毒,人流感病毒又可分为甲(A)、乙(B)、丙(C)三型,是流行性感病的病原体,其中甲型流感病毒根据其HA(血凝素)和NA(神经氨酸酶)分子的抗原性分为16个HA亚型和9个NA亚型^[19]。历史上,来自禽类和猪中的甲型流感病毒导致了多次大流行性流感的发生^[20]。目前,许多研究发现流感病毒可在无生命物体表面存活。研究^[21]发现,对确诊患者周围的397个环境样本进行了检测,其中在两个样本中检测到了流感病毒。墨西哥的一项研究^[22]表明,在确诊患者的手及频繁接触的墙面、沙发、衣物等环境表面也检测到了

流感病毒。流感病毒在无生命物体表面存活的时间从几小时到十几天不等^[17]。感染禽流感病毒的禽类尸体可在城市垃圾填埋场中保持传染性近2年。H6N2病毒在垃圾渗滤液中可存活30~600 d^[16]。研究^[23]发现,接触被甲型流感病毒污染的物体表面5 s,就可以将31.6%的病毒载量转移到手上。因此,流感病毒存在通过无生命物体表面传播的可能。

1.2 SARS病毒

SARS是由一种冠状病毒(SARS-CoV)引起的非典型肺炎,2002年11月最早在我国广东省出现^[24],并迅速扩散到其他国家地区,共确诊8 437例,造成813人死亡。至2003年7月,非典型肺炎大流行宣告结束^[25]。SARS病毒可在人与人之间传播,传播途径包括呼吸道飞沫传播和直接接触传播^[26]。此外,通过其他途径的传播也不容忽视。SARS病毒在物体表面的存活时间较长,一般以天为单位,其在塑料上的存活时间较长,可达9 d,在纸张上的存活时间较短,少于5 min^[11]。对SARS患者护理区域的研究^[27]发现,在63个环境样本中有38.1%的样本检测到SARS病毒。此外,对加拿大一家医院的研究中发现,在85个物体表面中有3.5%的物体表面检测到SARS病毒^[28]。因此,通过接触物体表面而感染SARS病毒的可能性不能被忽略。

1.3 MERS病毒

MERS是由一种冠状病毒(MERS-CoV)引起的呼吸道疾病。2012年6月,沙特阿拉伯一男子死于急性肺炎和肾衰竭,从他的痰液中分离出MERS病毒^[29]。直至2018年9月,MERS的流行才结束,全球共确诊2 260例,造成803人死亡,死亡率远高于SARS^[30]。MERS病毒的人际传播主要在医院发生,如在阿布扎比有超过40%的MERS感染病例与医院的接触和暴露有关^[31]。在沙特阿拉伯的一项研究^[32]发现,MERS患者所在的3个房间51个高触摸表面中有2个被MERS病毒污染。此外,韩国的一项研究^[33]也表明,MERS患者和医护人员经常接触的温度计、门把手、遥控器、床等多个环境表面均被MERS病毒污染。综上,MERS病毒可能通过受污染的环境和污染物传播,风险不容忽视。

1.4 埃博拉病毒

埃博拉病毒是出血热病毒的一种,是丝状病毒科的丝状无节段负性RNA病毒^[34]。其引起的埃博拉病毒病的病死率在50%~90%之间,是人类迄今为止发现的病死率最高的病毒之一^[35]。特别在非洲的多次暴发引起了世界关注,如1995年和2002年埃博拉病

毒病在刚果暴发. 埃博拉病毒最主要的传播途径是接触传播, 可以通过接触病人和被感染动物的血液、体液、分泌物、排泄物及其污染物感染, 在适当的条件下, 通过气溶胶的传播也可能发生. 此外, 埃博拉病毒在室温下可以在液体和干燥物料中存活若干天, 并保持感染活性, 所以接触被病人血液、体液等污染的物品也可能被感染^[36]. 一项评估埃博拉病毒通过污染物传播风险的研究^[37]发现, 在使用 RT-PCR 进行病毒检测时, 手套和静脉注射器上均检测到埃博拉病毒. 据估计, 在非洲埃博拉病毒治疗中心的一张床上病人每天产生多达 300 L 的液体废物和排泄物^[38], 这些均可能被埃博拉病毒污染^[39]. 因此, 在医疗废物的收集、运输及处理过程中要特别注意防范埃博拉病毒的传播^[9].

综上, 许多病毒在物体表面均可以存活一定时间, 无论是在医疗废物(防护服、口罩、手套等), 还是生活垃圾(口罩、卫生纸、食物等), 以及呕吐物、排泄物等都有可能被病毒污染, 造成病毒传播.

2 病毒在无生命物体表面存活的影响因素

病毒在物体表面的存活时间受到一系列内在因素和外在因素的影响, 外在因素包括温度、湿度、物体材质、紫外线、pH 等, 内在因素包括病毒种类、载量等^[17,40].

2.1 物体材质

同一种病毒在不同材料物体表面的生存时间不同, 最短的只有几个小时, 甚至几分钟, 而最长可达十几天. DUAN 等^[41]研究了 SARS 病毒在 8 种不同材质(木板、玻璃、金属、织物、厚纸板、滤纸、塑料、组合体)物体表面上的生存时间, 发现不同的材质对病毒的存活时间有一定的影响, SARS 病毒在滤纸、金属和织物上存活时间较长. 此外, 也有研究^[42]发现, SARS 病毒在一次性长袍上的存活时间要比在纸上和棉质长袍上长. ZUO 等^[43]发现, 流感病毒在 3 种无纺布上的存活时间均大于 1 h, 生存时间因材料而异, 在亲水尼龙上的存活率低于疏水材料. 最新研究^[18]发现, 不同材质对新型冠状病毒的存活时间影响较大, 新型冠状病毒在塑料和不锈钢上最稳定, 可存活长达 72 h, 在铜和硬纸板上的存活时间较短, 分别为 4 和 24 h.

2.2 温度

病毒对温度的变化较敏感, 随着温度的变化, 病毒的存活时间也随之改变. MERS 病毒在 20 °C 的条件下可存活 48 h, 而在 30 °C 的条件下存活时间缩短, 只有 8~24 h^[44]. SARS 病毒对温度非常敏感, 更适宜

在低温下生存, 其在 22~25 °C 下, 可在干净的表面存活 5 d 以上, 然而在较高的温度(38 °C)下则迅速失活^[45]. Lowen 等^[46]对流感病毒的研究发现, 在温度为 5 °C、相对湿度为 35%~50%的环境中, 流感病毒传播效率为 75%~100%; 而当温度升至 30 °C, 相对湿度为 35%时, 其传播效率则明显降低. WANG 等^[47]对新型冠状病毒与气候的关系进行了研究, 发现当平均气温在 8.72 °C 时最适合新型冠状病毒的传播.

2.3 湿度

湿度也是影响病毒存活的关键因素之一. 1985 年有研究^[48]发现, 温度和湿度对人类冠状病毒(HCV-299E)的影响比较复杂, 在 20 °C 下, 50%的相对湿度最有利于 HCV-299E 存活, 30%的相对湿度次之, 而在 80%的相对湿度下 HCV-299E 则很难存活. SARS 病毒在 40%~50%的相对湿度下, 在物体表面可存活 5 d 以上, 而在相对湿度大于 95%的条件下迅速失活^[45]. MERS 病毒在 30%的相对湿度下比在 80%的相对湿度下的存活时间更长, 说明 MERS 病毒可能更适合在低湿度的条件下存活^[44]. Lowen 等^[46]以豚鼠为模型宿主, 开展了湿度对流感病毒传播的影响研究, 发现 20%~35%的相对湿度最利于流感病毒的传播, 而在 80%的相对湿度下传播被完全阻断.

2.4 病毒载量

病毒载量也是影响病毒存活时间的重要因素. 研究^[42]发现, SARS 病毒在不同的材质上, 随着病毒载量的减少, 病毒的存活时间相应缩短. 在纸张上, 病毒滴度为 1×10^6 时, SARS 病毒失活时间为 24 h; 病毒滴度为 1×10^5 时, SARS 病毒失活时间为 3 h; 而在病毒滴度为 1×10^4 时, 失活时间 SARS 病毒小于 5 min. 在棉质物体表面也有相同的趋势, 即病毒载量越高, 其存活时间越长.

除上述影响因素外, 紫外线、pH 等也会影响病毒在物体表面的存活时间. 研究^[41]表明, 紫外线(260 nm)照射 SARS 病毒 60 min 后, 其感染力显著降低. SARS 病毒在紫外线(200~280 nm)照射 15 min 后, 可被彻底灭活^[49]. 综上, SARS 病毒对紫外线非常敏感. 关于 pH 对 SARS 病毒存活影响的研究^[49]发现, SARS 病毒在极端碱性(pH>12)或酸性(pH<3)条件下暴露 1 h 可被完全灭活.

3 防控措施建议

目前, 研究人员已在多种物体表面检测到新型冠状病毒, 因此存在病毒通过物体表面传播的风险. 预防传染病的三大措施分别为控制传染源、切断传播途

径、保护易感人群。被污染的物体,如医疗废物和生活垃圾在新型冠状病毒的传播过程中可扮演传播途径的角色,需要在其收集、运输、处理等过程开展有针对性的措施,将风险降至最低。因此,对疫情期间医疗废物和生活垃圾的处理处置建议如下:

a) 加强新型冠状病毒环境传播的科学研究。新型冠状病毒作为一种新的冠状病毒,目前对其生物学特性、环境存活、传播甚至变异的认识非常有限,亟待加强研究,为科学防控提供科学依据。

b) 加强垃圾分类管理。将定点医院产生的医疗废物分为塑料、金属、玻璃、纱布、木板、纸张等不同材质的废物,将居民产生的可能被病毒污染的生活垃圾分为纸张、塑料、玻璃、金属、果皮、织物、木板等不同材质的垃圾,根据病毒在不同材质废物表面生存的时间不同,可优先处理病毒生存时间较长的废物。

c) 加强消毒措施。对于医疗废物要进行原地消毒后再收集,对使用后的垃圾包装袋及运送工具均采用1 000 mg/L的含氯消毒液喷洒消毒。

d) 采用焚烧处理技术。对于可能被病毒污染的垃圾废物采用850℃以上的高温焚烧技术。

e) 加强宣传引导。通过各种媒体对公众进行有关病毒环境传播的宣传和引导,增强公众的垃圾分类意识;同时,引导大家养成良好的卫生习惯,不随意丢弃口罩、手套等个人防护用品,阻断病毒环境传播链。

4 结论

a) 多种病毒能在无生命物体表面存活一定时间,可造成潜在的病毒环境传播的次生风险,因此需要在病毒性疾病的防控措施中予以高度重视。

b) 病毒作为一种特殊的生命体,其生存与传播受到多种内在和外在因素的共同影响。充分认识这些科学规律,有助于制定更加有效的防止病毒环境传播的政策措施。

c) 鉴于病毒可在多种物体表面存活的实际情况,要更加重视环境卫生,及时对各种物体表面进行清洁和消毒,特别是公共场所和人员密集场所的物体表面;同时,要引导公众养成良好的卫生习惯,特别是勤洗手,以降低感染风险。

d) 面向未来可能的突发公共卫生事件,要进一步加强有关病毒环境传播的科学研究,深入认识其内在规律,提高环境应急管理的科学性。

参考文献(References):

[1] World Health Organization. WHO director: general's opening remarks at the media briefing on COVID-19 [R]. Geneva: World Health Organization, 2020-03-11 [2020-05-18]. [https://www.who.](https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020)

[int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020](https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020).

- [2] World Health Organization. Coronavirus disease (COVID-19) situation dashboard [R]. Geneva: World Health Organization, 2020-05-06 [2020-05-06]. <https://covid19.who.int>.
- [3] LAI C C, SHIH T P, KO W C, *et al.* Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and coronavirus disease-2019 (COVID-19): the epidemic and the challenges [J]. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 2020. doi: 10.1016/j.ijantimicag.2020.105924.
- [4] HOLSHUE M L, DEBOLT C, LINDQUIST S, *et al.* First case of 2019 novel coronavirus in the United States [J]. *The New England Journal Medicine*, 2020, 382(10): 929-936.
- [5] GUAN Weijie, NI Zhengyi, HU Yu, *et al.* Clinical characteristics of 2019 novel coronavirus infection in China [J]. *The New England Journal Medicine*, 2020. doi: 10.1056/NEJMoa2002032.
- [6] 国家卫生健康委员会办公厅. 新型冠状病毒感染的肺炎诊疗方案(试行第七版)[国卫办医函(2020)184号][EB/OL]. 北京: 国家中医药管理局办公室, 2020-03-04 [2020-03-15]. <http://www.nhc.gov.cn/yzygj/s7653p/202003/46c9294a7dfe4cef80dc7f5912eb1989.shtml>.
- [7] LU Chengwei, LIU Xiufen, JIA Zhifang, *et al.* 2019-nCoV transmission through the ocular surface must not be ignored [J]. *The Lancet*, 2020. doi: 10.1016/s0140-6736(20)30313-5.
- [8] 生态环境部. 新型冠状病毒感染的肺炎疫情医疗废物应急处置管理与技术指南(试行)[EB/OL]. 北京: 生态环境部, 2020-01-28 [2020-03-15]. http://www.mee.gov.cn/ywdt/xwfb/202001/t20200129_761043.shtml.
- [9] EDMUNDS K L, ELRAHMAN S A, BELL D J, *et al.* Recommendations for dealing with waste contaminated with Ebola virus: a hazard analysis of critical control points approach [J]. *Bulletin of the World Health Organization*, 2016, 94(6): 424-432.
- [10] 吕凡, 郝丽萍, 章骅, 等. 病毒在环境卫生作业环境中的存活潜力及感染风险防控探讨 [J]. *环境卫生工程*, 2020, 28(1): 1-9.
- [11] LV Fan, HAO Liping, ZHANG Hua, *et al.* Survival potential of viruses during environmental sanitation operation and the prevention and control of the infection risk [J]. *Environment Sanitation Engineering*, 2020, 28(1): 1-9.
- [12] KAMPF G, TODT D, PFAENDER S, *et al.* Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and its inactivation with biocidal agents [J]. *Journal of Hospital Infection*, 2020, 104(3): 246-251.
- [13] HOCELLA M F, MOGK D W, RANVILLE J, *et al.* Natural, incidental, and engineered nanomaterials and their impacts on the earth system [J]. *Science*, 2019, 363(6434): 1414-1425.
- [14] COOPER R C, POTTER J L, LEONG C, *et al.* Virus survival in

- solid waste leachates[J]. *Water Research*, 1974, 9(8): 733-739.
- [14] PETERSON M L. Soiled disposable diapers: a potential source of viruses[J]. *American Journal of Public Health*, 1974, 64(9): 912-914.
- [15] FRANKA E, ZOKA A H E, HUSSEIN A H, *et al.* Hepatitis B virus and hepatitis C virus in medical waste handlers in Tripoli, Libya [J]. *Journal of Hospital Infection*, 2009, 72(3): 258-261.
- [16] GRAIVER D A, TOPLIFF C L, KELLING C L, *et al.* Survival of the Avian Influenza Virus (H6N2) after land disposal [J]. *Environmental Science & Technology*, 2009, 43: 4063-4067.
- [17] OTTER J A, DONSKY C, YEZLI S, *et al.* Transmission of SARS and MERS coronaviruses and influenza virus in healthcare settings: the possible role of dry surface contamination [J]. *Journal of Hospital Infection*, 2016, 92(3): 235-250.
- [18] DOREMALEN N V, BUSHMAKER T, MORRIS D H, *et al.* Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1 [J]. *The New England Journal of Medicine*, 2020. doi: 10.1056/NEJMc2004973.
- [19] NEUMANN G, DONSKY C, YEZLI S, *et al.* Emergence and pandemic potential of swine-origin H1N1 influenza virus [J]. *Nature*, 2009, 459: 931-939.
- [20] YEWEDELL J W, SPIRO D J, GOLDING H, *et al.* Getting to the heart of influenza[J]. *Science Translational Medicine*, 2013. doi: 10.1126/scitranslmed.3006735.
- [21] KILLINGLEY B, GREATOREX J, CAUCHEMEZ S, *et al.* Virus shedding and environmental deposition of novel A (H1N1) pandemic influenza virus: interim findings [J]. *Health Technology Assessment*, 2010, 14: 237-356.
- [22] MACIAS A E, TORRE A D L, MORENO E S, *et al.* Controlling the novel A (H1N1) influenza virus: don't touch your face [J]. *Journal of Hospital Infection*, 2009, 73: 280-281.
- [23] BEAN B, MOORE B M, STERNER B, *et al.* Survival of influenza viruses on environmental surfaces [J]. *Journal of Infectious Diseases*, 1982, 146: 47-51.
- [24] 彭国文, 何剑峰, 林锦炎, 等. 广东省传染性非典型肺炎流行病学特征初步调查[J]. *中华流行病学杂志*, 2003, 5(24): 350-352.
- PENG Guowen, HE Jianfeng, LIN Jinyan, *et al.* Epidemiological study on severe acute respiratory syndrome in Guangdong province [J]. *Chinese Journal of Epidemiology*, 2003, 5(24): 350-352.
- [25] World Health Organization. Cumulative number of reported probable cases of severe acute respiratory syndrome (SARS) [R]. Geneva: World Health Organization, 2003-01-16[2020-03-15]. <http://www.who.int/csr/sarscountry/20030711/en>.
- [26] POUTANEN S M, LOW D E, HENRY B, *et al.* Identification of severe acute respiratory syndrome in Canada [J]. *The New England Journal of Medicine*, 2003, 348: 1995-2005.
- [27] DOWELL S F, SIMMERMAN J M, ERDMAN D D, *et al.* Severe acute respiratory syndrome coronavirus on hospital surfaces [J]. *Clinical Infectious Diseases*, 2004, 39: 652-657.
- [28] BOOTH T F, BILL K, NATHALIE B, *et al.* Detection of airborne severe acute respiratory syndrome (SARS) coronavirus and environmental contamination in SARS outbreak units [J]. *Journal of Infectious Diseases*, 2005, 191: 1472-1477.
- [29] ZAKI A M, VAN BOHEEMEN S, BESTEBROER T M, *et al.* Isolation of a novel coronavirus from a man with pneumonia in Saudi Arabia [J]. *The New England Journal of Medicine*, 2012, 367: 1814-1820.
- [30] 李琼, 李蓬. 中东呼吸综合征冠状病毒感染的研究进展 [J]. *河南预防医学杂志*, 2020(31): 81-84.
- [31] HUNTER J C, NGUYEN D, ADEN B, *et al.* Transmission of Middle East respiratory syndrome coronavirus infections in healthcare settings, Abu Dhabi [J]. *Emerging Infectious Diseases*, 2016, 22: 647-656.
- [32] KHAN R M, DORZI H M, JOHANI S, *et al.* Middle East respiratory syndrome coronavirus on inanimate surfaces: a risk for health care transmission [J]. *American Journal of Infection Control*, 2016, 44: 1387-1389.
- [33] BIN S Y, YEON H J, MIN SUK S, *et al.* Environmental contamination and viral shedding in MERS patients during MERS-CoV outbreak in South Korea [J]. *Clinical Infectious Diseases*, 2016, 62: 755-760.
- [34] MATSON M J, CHERTOW D S, MUNSTER V J, *et al.* Delayed recognition of Ebola virus disease is associated with longer and larger outbreaks [J]. *Emerging Microbes & Infections*, 2020, 9: 291-301.
- [35] 王中一, 聂鑫, 郭振东, 等. 埃博拉病毒经气溶胶感染与传播的研究进展 [J]. *中国病原生物学杂志*, 2018, 13(8): 914-916.
- WANG Zhongyi, NIE Xin, GUO Zhendong, *et al.* Advances in research on the aerosol infection and transmission of Ebola virus [J]. *Journal of Pathogen Biology*, 2018, 13(8): 914-916.
- [36] 刘富强, 惠石生, 高立冬. 埃博拉病毒的传播途径及医务人员的个人防护装备研究进展 [J]. *实用预防医学*, 2015, 22(1): 1-4.
- LIU Fuqiang, HUI Shisheng, GAO Lidong. Research progress on the transmission route of Ebola virus and personal protective equipment of healthcare workers [J]. *Practical Preventive Medicine*, 2015, 22(1): 1-4.
- [37] BAUSCH D G, TOWNER J S, DOWELL S F, *et al.* Assessment of the risk of Ebola Virus transmission from bodily fluids and fomites [J]. *The Journal of Infectious Diseases*, 2007, 196: 142-147.
- [38] Liberia. Burning Ebola waste safely [R/OL]. Geneva: World Health Organization, 2015-02[2020-03-15]. <https://www.who.int/features/2015/ebola-ppc-disposal/en>.
- [39] OSTERHOLM M T, MOORE K A, GOSTIN L O, *et al.* Public health in the age of Ebola in West Africa [J]. *JAMA Internal Medicine*,

- 2015,175(1):7-8.
- [40] BOONE S A, GERBA C P. Significance of fomites in the spread of respiratory and enteric viral disease[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2007, 73:1687-1696.
- [41] DUAN Shuming, ZHAO Xinsheng, WEN Ruifu, *et al.* Stability of SARS coronavirus in human specimens and environment and its sensitivity to heating and UV irradiation [J]. *Biomedical and Environmental Sciences*, 2003, 16:246-255.
- [42] LAI M Y Y, CHEN P K C, LIM W W L, *et al.* Survival of severe acute respiratory syndrome coronavirus [J]. *Clinical Infectious Diseases*, 2005, 41:67-71.
- [43] ZUO Z, DE ABIN M, CHANDER Y, *et al.* Comparison of spike and aerosol challenge tests for the recovery of viable influenza virus from non-woven fabrics [J]. *Influenza & Other Respiratory Viruses*, 2013, 7(5):637-644.
- [44] DOREMALEN N V, BUSHMAKER T, MUNSTER V, *et al.* Stability of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) under different environmental conditions [J]. *European Communicable Disease Bulletin*, 2013, 18(38):637-644.
- [45] CHAN K H, PEIRIS J S M, LAM S Y, *et al.* The effects of temperature and relative humidity on the viability of the SARS Coronavirus [J]. *Advances in Virology*, 2011. doi: 10.1155/2011/734690.
- [46] LOWEN A C, MUBAREKA S, STEEL J, *et al.* Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature[J]. *Plos Pathogens*, 2007, 3(10):1470-1476.
- [47] WANG Mao, JIANG Aili, GONG Lijuan, *et al.* Temperature significantly change COVID-19 transmission in 429 cities [J]. *MedRxiv*, 2020. doi: 10.1101/2020.02.22.20025791.
- [48] IJAZ M K, BRUNNER A H, SATTAR S A, *et al.* Survival characteristics of airborne human coronavirus 229E [J]. *Journal of General Virology*, 1985, 66(12):2743-2748.
- [49] DARNELL M E R, SUBBARAO K, FEINSTONE S M, *et al.* Inactivation of the coronavirus that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV [J]. *Journal of Virological Methods*, 2004, 121:85-91.

(责任编辑:刘 方)